CONSEIL PERMANENT INTERNATIONAL
POUR L'EXPLORATION DE LA MER

PUBLICATIONS DE CIRCONSTANCE

N° 4-5

MARTIN KNUDSEN

4

UEBER DEN GEBRAUCH VON STICKSTOFFBESTIMMUNGEN
IN DER HYDROGRAPHIE

5

GEFRIERPUNKTTABELLE FUER MEERWASSER

EN COMMISSION CHEZ
ANDR. FRED. HØST & FILS
COPENHAGUE

SEPTEMBRE 1903

CONSEIL PERMANENT INTERNATIONAL
POUR L'EXPLORATION DE LA MER

PUBLICATIONS DE CIRCONSTANCE

N° 4-5

MARTIN KNUDSEN

4

UEBER DEN GEBRAUCH VON STICKSTOFFBESTIMMUNGEN
IN DER HYDROGRAPHIE

5

GEFRIERPUNKTTABELLE FUER MEERWASSER

EN COMMISSION CHEZ
ANDR. FRED. HØST & FILS
COPENHAGUE

SEPTEMBRE 1903

COPENHAGUE — IMPRIMERIE BIANCO LUNO

UEBER DEN GEBRAUCH VON STICKSTOFF-BESTIMMUNGEN IN DER HYDROGRAPHIE

VON

MARTIN KNUDSEN

In der alten sehr verwirrten Auffassung über die im Meerwasser gelöste Luftmenge wurde von dem Chemiker der deutschen Pomerania-Expeditionen Dr. Oscar Jacobsen Ordnung und Klarheit gebracht. Die wichtigsten Resultate seiner Untersuchungen fasst Dr. Jacobsen in folgendem Satze zusammen, „dass die Summe von Sauerstoff und Stickstoff in der Tiefe nahezu derjenigen Menge dieser Gase gleich ist, welche das Wasser bei seiner wirklichen Tiefentemperatur an der Meeresoberfläche aus der Atmosphäre aufnehmen würde, weniger der etwa verbrauchten Sauerstoffmenge".

Aus diesem Satze folgert Dr. Jacobsen weiter, „dass das Meerwasser in der Tiefe sich mit nahezu derselben Temperatur, welche es dort besitzt, an der Oberfläche befunden und hier mit den atmosphärischen Gasen gesättigt haben muss". (Ueber die Luft des Meerwassers; von Oscar Jacobsen. Annalen der Chemie und Pharmacie, Band CLXVII, 1873, Seite 22.)

Seitdem Dr. Jacobsen diesen für die Hydrographie so überaus wichtigen Aufsatz veröffentlichte, ist eine sehr grosse Anzahl von Analysen der im Meerwasser enthaltenen Luft angestellt worden. Diese Analysen haben die beiden von Dr. Jacobsen aufgestellten Sätze der Hauptsache nach bestätigt. Weitere Folgerungen, die richtig oder falsch sein mögen, sind nachher von verschiedenen Autoren gezogen worden, und bei dem heutigen Standpunkt der hydrographischen Wissenschaft kann man folgende 3 Regeln als die bei hydrographischen Untersuchungen wirklich gebrauchten aufstellen:

Nr. 1. Aus der Menge von Stickstoff in einer Wasserprobe aus der Tiefe bestimmt man die Temperatur, bei welcher die Wasserprobe mit dem vorhandenen Stickstoffgehalt eben gesättigt sein wird (Sättigungstemperatur $T°$).

Nr. 2. Diese Temperatur kann man als die Absorptionstemperatur betrachten, d. h. die Temperatur des Wassers, als es das letzte Mal die Oberfläche verliess.

Nr. 3. Der Unterschied zwischen der Absorptionstemperatur und der Temperatur des Wassers in der Tiefe giebt an, wie viel das Wasser, seitdem es die Oberfläche verliess, abgekühlt oder erwärmt worden ist.

Bei einer früheren Gelegenheit habe ich mich mit der Gültigkeit dieser Regeln beschäftigt und gefunden, dass die beiden letzten Schlussfolgerungen, Nr. 2 und 3, falsch sind (Den danske Ingolfexpedition — Første Bind, 2 — Hydrografi af Martin Knudsen, 1898, Seite 141; englische Uebersetzung). Man sieht leicht, dass die mit Nr. 3 bezeichnete Regel eine einfache logische Folgerung aus Nr. 2 ist, und daher braucht man nur diese zu untersuchen.

Durch eine Reihe von Stickstoffbestimmungen in dem Oberflächenwasser habe ich gezeigt, dass die Temperatur des Oberflächenwassers von der Sättigungstemperatur sehr verschieden sein kann. Die in der Tiefe vorgefundenen Differenzen zwischen den vorhandenen Temperaturen und den Sättigungstemperaturen sind von derselben Grössenordnung wie die entsprechenden Differenzen, die in dem Oberflächenwasser vorhanden sind, und daraus geht sogleich hervor, dass man aus einer in der Tiefe gefundenen Stickstoffmenge sehr wenig oder gar nichts über die Erwärmung oder Abkühlung des Wassers, seitdem es die Oberfläche verliess, schliessen kann. Dieses Resultat ist allerdings aus den von mir ausgeführten Luftanalysen und durch Verwendung von Hambergs Tabellen gewonnen. Die Resultate kontrollieren sich jedoch gegenseitig so gut, dass sie kaum bezweifelt werden können.

Sollte die angeführte Regel richtig sein, so wäre erforderlich, 1) dass das Wasser, wenn es von der Oberfläche hinuntertaucht, eben mit Stickstoff gesättigt wäre, 2) dass die Temperatur des Wassers in der Tiefe geändert werden könnte, ohne dass eine entsprechende Aenderung des Stickstoffgehaltes stattfände. Wir wollen nun annehmen, dass die erste Forderung erfüllt ist, und die zweite näher untersuchen.

Die wichtigsten Vorgänge, bei welchen die Temperatur in der Tiefe geändert werden kann, sind 1) Mischung von Wasserschichten mit verschiedenen Temperaturen, 2) Wärmeleitung von wärmeren zu kälteren Wasserschichten, und 3) Strahlung.

1) In einem Mischwasser hat die Bestimmung der sog. Absorptionstemperatur nur dann einen Sinn, wenn man in Bezug auf Temperatur, Salzgehalt und Stickstoffgehalt des einen der beiden Komponenten etwas weiss. Dies wird aber nicht häufig der Fall sein, und viele ausgeführten Bestimmungen der Absorptionstemperatur sind daher für den genannten Zweck wertlos.

2) Nehmen wir an, dass eine Wasserschicht durch Berührung mit einer anderen z. B. wärmeren Schicht ihre Temperatur ändert, und dass die beiden Wasserschichten ursprünglich mit Stickstoff gesättigt waren, so wird die Wärmeleitung von einer Diffusion des Stickstoffs begleitet sein. Die beiden Vorgänge, Wärmeleitung und Diffusion, gehorchen den nämlichen Gesetzen, indem eine Temperaturdifferenz einem Unterschied in Druck oder Spannung (Tension) des Stickstoffs entspricht. Wir werden nun voraussetzen, dass die Wärmeleitung unter solchen Umständen geschieht, dass keine Konvektionsströmungen erzeugt werden. Nehmen wir an, dass eine Wasserschicht sich oberhalb einer anderen mit dem nämlichen Salzgehalt, aber niedrigerer Temperatur befindet, und dass die beiden Wasserschichten eben mit Stickstoff gesättigt sind. Nach Verlauf einiger Zeit wird sich die Temperatur in einem gewissen Abstand von der Grenzfläche geändert haben. Durch diese Temperaturänderung wird die Tension des Stickstoffs im unteren Teil der oberen Schicht vermindert und im oberen Teil der unteren Schicht vermehrt worden sein. Diese Tensionsänderungen, die Mangel an Sättigung und Uebersättigung bedeuten, werden eine Diffusion hervorrufen, die das Gleichgewicht wieder herzustellen sucht. Durch die Wärmeleitung wird also sowohl eine übersättigte Wasserschicht als eine nicht vollständig gesättigte Wasserschicht gebildet. Wie viel die Diffusion die Uebersättigung und den Mangel an Sättigung vermindern wird, lässt sich kaum ausrechnen, weil die Bestimmungen der Diffusionsgeschwindigkeiten so unvollständig sind. Die Diffusion des Stickstoffs scheint allerdings eine so geringe Geschwindigkeit zu haben, dass man in diesem Zusammenhang davon absehen kann.

Setzen wir beispielsweise die Temperaturdifferenz der beiden Wasserschichten gleich 6°, so wird im Laufe von 24 Stunden so viel Wärme durch die Grenzfläche strömen, dass sie die Temperatur, bis in eine Tiefe von 40 cm. von der Grenzfläche aus gerechnet, um 1° steigern könnte, vorausgesetzt, dass die ganze Wärmemenge in einer solchen Schicht gleichmässig verteilt würde. Im Laufe des nächsten Monats wird die durchgeströmte Wärmemenge gross genug sein um eine Wasserschicht von 180 cm. Dicke gleichmässig um 1° zu erwärmen, und nach Verlauf von längerer Zeit wird die Wärmeströmung äusserst langsam sein, weil die Temperatur sich dann mit der Tiefe wenig schnell ändert. Nach Verlauf eines Monats wird der Betrag der Temperaturänderung pr. Centimeter, wo sie eben am grössten ist, gleich 0·03° sein, d. h. 3° pr. Meter, und eine so grosse Variation ist wohl noch nicht im offenen Meere angetroffen. Im Kattegatt können noch schnellere Variationen vorkommen; ich habe z. B. mit meinem elektrischen Thermometer 0·19° pr. Centimeter gemessen. Im Kattegatt wird also die Wärmeleitung eine grosse Rolle spielen können. Die

Wasserströmungen und die Mischungsprozesse sind jedoch dort so lebhaft, dass man so gut wie immer mit Mischwasser zu tun hat.

Wir haben gesehen, dass im offenen Meere durch Wärmeleitung allein sogar in grösseren Zeiträumen nur verhältnismässig dünne Wasserschichten eine beträchtliche Temperaturänderung erleiden können. Nun ist es sehr wohl denkbar, dass das Wasser in einer solchen dünnen Schicht nach einer Stelle hin strömt, sich dort ansammelt und eine Wasserschicht von bedeutender Dicke bildet. Man kann sich doch kaum vorstellen, dass Strömungen in einer so dünnen Schicht vorkommen können, ohne von Mischungsprozessen begleitet zu sein, und in dieser Weise wird also die durch die Wärmeleitung hervorgebrachte Uebersättigung oder der Mangel an Sättigung mit Stickstoff wieder vermindert.

3) Eine beträchtliche Temperaturänderung durch Strahlung im Wasser unter der Oberflächenschichte kann nur durch Erwärmung unter Einfluss der direkten Sonnenstrahlung erfolgen. Die Strahlen, die viel Wärme mit sich bringen, werden nur wenig tief ins Wasser hineindringen, und daher wird die von den Sonnenstrahlen hervorgerufene Erwärmung sich auf eine dünne Schicht beschränken. Ebenso wie bei der Wärmeleitung werden also Horizontalströmungen entstehen müssen, um eine Schicht von beträchtlicher Dicke zu bilden, und diese Strömungen werden wahrscheinlich von Mischungsprozessen begleitet sein, die wieder den Sättigungsgrad des Stickstoffs ändern.

Wir sehen also, dass Uebersättigung und Mangel an Sättigung mit Stickstoff wohl in der Tiefe entstehen können, dass aber die so geänderten Wassermassen keine grossen Dimensionen annehmen können. Findet man in der Tiefe beträchtliche Uebersättigung oder Mangel an Sättigung, wird es also keineswegs gerechtfertigt sein zu schliessen, dass das Wasser, seitdem es die Oberfläche verliess, seine Temperatur geändert hat. Vielmehr ist es wahrscheinlich, dass das Wasser in übersättigtem oder nicht gesättigtem Zustande die Oberfläche verlassen hat, und dass vielleicht der Sättigungsgrad in der Tiefe etwas geändert worden ist durch Mischungen mit anderen Wassersorten, durch etwaige Wärmeleitung und Sonnenstrahlung und durch chemische Prozesse, die jedoch noch ungefähr ganz unerforscht sind und wahrscheinlich auch in den meisten Fällen ausser Betracht gelassen werden können. Nach dieser Auffassung wird man sehen, dass die Sache sehr kompliziert ist, und dass eine Stickstoffbestimmung eine ziemlich eingehende Kenntnis des Meerwassers erfordert, um sichere Aufschlüsse geben zu können. Eine Generalisation wird kaum möglich sein; man kann aber doch versuchen, einige Regeln für den Gebrauch der Stickstoffbestimmungen aufzustellen. Diese Regeln müssen aber in den einzelnen Fällen näher untersucht werden, um nicht zu falschen Resultaten zu führen.

Stickstoffbestimmungen in Oberflächenwasserproben. Nach den Untersuchungen, die ich früher angestellt habe (Den danske Ingolf-expedition, l. c.), wird man aus einer Uebersättigung mit Stickstoff schliessen können, dass das Oberflächenwasser eben von der Atmosphäre oder von der Sonne erwärmt wird oder eben erwärmt worden ist. Diese Erwärmung erfolgt natürlich im Frühjahr und Sommer, kann aber auch dadurch hervorgerufen werden, dass das Wasser wärmeren Gegenden zuströmt. Ebenso wird man aus einem vorgefundenen Mangel an Sättigung in dem Oberflächenwasser auf eine Abkühlung des Wassers schliessen können. Die Stickstoffmengen in dem Oberflächenwasser können daher unter Umständen Auskunft darüber geben, woher das Wasser kommt. Man muss dabei wissen, zu welcher Jahreszeit die Probe geschöpft worden ist, sowie die Temperaturänderungen der Luft in den letzten Tagen oder Wochen vor der Schöpfung kennen, und ist die Uebersättigung oder der Mangel an Sättigung nur klein, so muss man auch die Barometeränderungen in den letzten Tagen oder Wochen vor der Schöpfung kennen. Die besten und sichersten Resultate erhält man natürlich, wenn man viele zu derselben Zeit ausgeführte Bestimmungen der Stickstoffmenge im Oberflächenwasser zur Verfügung hat, indem man dann möglicherweise durch Vergleichung den Einfluss der Lufttemperatur und Barometerschwankungen eliminieren kann. Es handelt sich nur um die langsamen Schwankungen, indem die schnellen Schwankungen, besonders im Luftdruck, kaum von merkbarem Einfluss sein werden. Die gewöhnlichen meteorologischen Observationen auf dem Lande werden daher in den meisten Fällen genügen, um die nötige Kenntnis der Temperatur und des Luftdrucks an der Schöpfstelle zu ergeben. — Es wird vorausgesetzt, dass das Wasser nicht eben von der Tiefe emporgekommen ist. Ist dies der Fall, werden die angeführten Schlussfolgerungen nicht gerechtfertigt sein.

Stickstoffbestimmungen in Wasserproben aus der Tiefe. Ist der Stickstoffgehalt von der zur Sättigung nötigen Menge nur wenig verschieden, wird es sehr selten möglich sein, bestimmte Schlussfolgerungen in Bezug auf die Temperatur zu ziehen, denn die kleinen Abweichungen vom Sättigungszustande können von der Differenz herrühren, die in der letzten Zeit, bevor die Probe die Oberfläche verliess, zwischen dem atmosphärischen Druck und dem Normaldruck 760 mm. bestand.

Wir werden nun annehmen, dass in einer Probe aus der Tiefe ein beträchtlicher Mangel an Sättigung vorgefunden ist, und näher untersuchen, welche Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können. Man muss sich dann erst klar machen, ob das Wasser, seitdem es die Oberfläche verliess, in beträchtlichem Grade mit anderen Wassersorten gemischt worden ist. Ist dies nicht der Fall, wird man

in den meisten Fällen annehmen können, dass das Wasser mit ungefähr der nämlichen Temperatur, die es in der Tiefe hat, die Oberfläche verliess, und dass es also auch, als es die Oberfläche verliess, mit Stickstoff nicht vollständig gesättigt war und sich also unter Abkühlung befand.

Man hat dann drei Möglichkeiten. Entweder ist das Wasser, als es sich in der Oberfläche befand, im Herbst oder Winter, abgekühlt worden, hat dabei eine grössere Dichtigkeit gewonnen und ist gesunken; oder es ist kälteren Gegenden zugeströmt und hat dort die Oberfläche verlassen; oder es kann natürlich auch beides der Fall gewesen sein. Die Frage, welche von diesen Möglichkeiten der Wirklichkeit entspricht, muss in jedem einzelnen Falle anderen Prämissen gemäss beantwortet werden und wird wohl sehr häufig unbeantwortet bleiben. Besteht die Probe aus Mischwasser, so muss man ziemlich detaillierte Aufschlüsse über den Zustand der einzelnen Komponenten, sowie über die Mischungsverhältnisse haben, um richtige Schlussfolgerungen ziehen zu können. Bei einer eingehenden Kenntnis des hydrographischen Zustandes in angrenzenden Meeresgebieten, wird es jedoch in vielen Fällen möglich sein, die nötigen Aufschlüsse über die Mischungskomponenten in dem eben zu untersuchenden Meeresgebiete zu erhalten, und eine Stickstoffbestimmung wird dann auch in diesem Falle etwas zu erzählen haben.

Bei derartigen Folgerungen muss man jedoch immer bedenken, dass man, wenn zwei mit Stickstoff eben gesättigte Wasserproben von verschiedenen Temperaturen gemischt werden, eine übersättigte Mischung erhält. Der Uebersättigungsgrad muss in jedem einzelnen Falle nach den Absorptionstabellen (z. B. Hambergs) berechnet werden. Wird eine Wasserprobe von hohem Salzgehalt und niedriger Temperatur mit einer Wasserprobe von geringem Salzgehalt und hoher Temperatur gemischt, so wird die Uebersättigung klein; dagegen wird sie gross, wenn eine Wasserprobe von geringem Salzgehalt und niedriger Temperatur mit einer von hohem Salzgehalt und hoher Temperatur gemischt wird. Die Uebersättigung erhält eine mittlere Grösse, wenn der Salzgehalt der beiden Proben der nämliche ist und nur die Temperaturen verschieden sind. Z. B. Mischung von $S = 0{\cdot}00\,‰$, $T = -1°$ mit $S = 35{\cdot}00\,‰$, $T = 15°$ ergiebt eine Uebersättigung von ca. 1 ccm. Mischung von $S = 35{\cdot}00\,‰$, $T = -1°$ mit $S = 0{\cdot}00\,‰$, $T = 15°$ ergiebt eine Uebersättigung von 0·12 ccm. Mischung von $S = 35{\cdot}00\,‰$, $T = -1°$ mit $S = 35{\cdot}00\,‰$, $T = 15°$ ergiebt eine Uebersättigung von 0·50 ccm.

Daraus kann man schliessen, dass es, wenn in einer vorgelegten Wasserprobe aus der Tiefe viel Stickstoff fehlt, um das Wasser zu sättigen, wahrscheinlich ist, dass die Probe nicht nur unter Abkühlung gesunken ist, sondern auch entweder wenig gemischt ist oder aus

einer Mischung von kaltem salzigem Wasser mit warmem salzarmem Wasser besteht.

Ist die Wasserprobe aus der Tiefe mit Stickstoff übersättigt, und ist die Probe nicht durch Mischung entstanden, wird es wahrscheinlich, dass das Wasser während einer Erwärmung die Oberfläche verlassen hat, d. h. das Wasser hat die Oberfläche im Frühjahr oder Sommer verlassen oder ist als Oberflächenwasser wärmeren Gegenden zugeströmt. — Das Wasser kann während einer Erwärmung die Oberfläche im Allgemeinen nur dann verlassen, wenn es von leichterem, aus anderen Gegenden kommendem und meistens salzärmerem Wasser überlagert wird oder unter solches Wasser hinabströmt. Besteht die Probe aus einer Mischung, muss man wieder detaillierte Aufschlüsse über die einzelnen Komponenten haben und bedenken, dass Uebersättigung durch Mischung allein entstehen kann.

Man sieht, dass es bei den hier gezogenen Schlussfolgerungen eine Voraussetzung gewesen ist, dass das Wasser seine Temperatur in der Tiefe nicht geändert hat. Ich habe gezeigt, dass es ein Irrtum ist, anzunehmen, dass das Wasser nur durch Erwärmung oder Abkühlung in der Tiefe seine Stickstofftension ändern kann; ich habe auch gezeigt, dass Aenderungen in dieser Weise entstehen werden, dass sie aber wahrscheinlich weniger bedeutend sind als die anderen Ursachen, die eine Differenz zwischen Stickstoffgehalt und Sättigungsbetrag hervorrufen können. Jedoch ist es nicht erlaubt, ganz von dem Einfluss der Erwärmung oder Abkühlung in der Tiefe abzusehen, und dieses Moment muss daher bei jeder Erörterung in Betracht gezogen werden.

GEFRIERPUNKTTABELLE FUER MEERWASSER

VON

MARTIN KNUDSEN

Die Beobachtungen, auf welchen die folgende Tabelle beruht, bestehen teils aus den Konstantenbestimmungen, die für die Aufstellung meiner hydrographischen Tabellen ausgeführt wurden, teils aus den in dem dänischen hydrographischen Laboratorium von Herrn Magister H. J. Hansen ausgeführten Gefrierpunktbestimmungen. Die für die Aufstellung der Tabelle erforderlichen Rechnungen sind von Herrn cand. mag. Joh. Gehrke ausgeführt.

Die Tabelle ist mit ganzen Werten der Chlormenge, in promille ausgedrückt, als Argumenten berechnet.

Der Salzgehalt S ist mit Hülfe der Formel $S = 0{\cdot}030 + 1{\cdot}8050\,Cl$ berechnet (Hydrographische Tabellen, herausgegeben von Martin Knudsen, Kopenhagen, 1901).

Das spezifische Gewicht s_0 bei 0°, bezogen auf destilliertes Wasser bei 4°, ist durch σ_0 bestimmt, indem $\sigma_0 = (s_0 - 1)\,1000$. σ_0 ist mit Hülfe der Formel: $\sigma_0 = -0{\cdot}069 + 1{\cdot}4708\,Cl - 0{\cdot}001570\,Cl^2 + 0{\cdot}0000398\,Cl^3$ berechnet (Hydrographische Tabellen, u. s. w.).

Der Gefrierpunkt τ ist aus σ_0 mit Hülfe der Formel $\tau = -0{\cdot}0086 - 0{\cdot}064633\,\sigma_0 - 0{\cdot}0001055\,\sigma_0^2$ berechnet (Foreløbig Meddelelse fra det danske hydrografiske Laboratorium, København i Marts 1903. H. J. Hansen: Eksperimental Bestemmelse af Afhængigheden mellem Havvandets Frysepunkt og dets Vægtfylde ved 0° C.).

Das spezifische Gewicht des Meerwassers bei dem Gefrierpunkte ist gleich $1 + \frac{\sigma_\tau}{1000}$. σ_τ ist aus σ_0 und τ mit Hülfe der Formel: $\sigma_\tau = \Sigma_\tau + (\sigma_0 + 0{\cdot}1324)\,(1 - A_\tau + B_\tau\,(\sigma_0 - 0{\cdot}1324))$ berechnet. Die Werte der Grössen Σ_τ, A_τ und B_τ sind aus den hydrographischen Tabellen, Seite 35, interpoliert und extrapoliert worden.

Die Aenderung der Dichtigkeit mit der Temperatur bei dem Gefrierpunkte ist durch Differentiation von σ_t gefunden, indem die Differentialquotienten für $t = \tau$ von Σ_t, A_t und B_t durch Interpolation in den hydrographischen Tabellen Seite 35 gebildet wurden.

Die Temperatur $t_{\sigma\max}$, bei welcher das Wasser seine grösste Dichtigkeit hat, wurde durch Interpolation in einer derartigen Tabelle bestimmt. (Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen, herausgegeben von der Kommission zur Untersuchung der deutschen Meere in Kiel und der Biologischen Anstalt auf Helgoland. Abtheilung Kiel. Neue Folge. Band 6. Berechnung der hydrographischen Tabellen und Diskussion der Ergebnisse von MARTIN KNUDSEN, Seite 183).

Das Maximum der Dichtigkeit des Meerwassers, $\sigma_t \max$, wurde aus σ_0 und $t_{\sigma\max}$ mit Hülfe der Formel

$$\sigma_t \max = \Sigma_t + (\sigma_0 + 0{\cdot}1324)(1 - A_t + B_t(\sigma_0 - 0{\cdot}1324))$$

berechnet, in der $t = t_{\sigma\max}$ gesetzt wurde. Die Werte von Σ_t, A_t und B_t, die innerhalb der hydrographischen Tabellen Seite 35 fallen, sind direkt daraus interpoliert. Die Werte, die ausserhalb dieser Tabellen fallen, sind mit Hülfe der folgenden Formeln berechnet:

$$\Sigma_t = -\frac{(t - 3°{,}98)^2}{503{,}570} \cdot \frac{t + 283°}{t + 67°{,}26},$$

$$A_t = t(4{\cdot}7867 - 0{\cdot}098185\,t + 0{\cdot}0010843\,t^2) \times 10^{-3},$$

$$B_t = t(18{\cdot}030 - 0{\cdot}8164\,t + 0{\cdot}01667\,t^2) \times 10^{-6}.$$

Als letztes Argument in der Tabelle ist der Chlorgehalt 13·665 ‰ aufgeführt. In einem Meerwasser von dieser Konzentration wird $\left(\frac{d\sigma_t}{dt}\right)_{t=\tau}$ gleich Null, d. h., eine solche Meerwasserprobe hat beim Gefrierpunkte eben ihre grösste Dichtigkeit. Für die Wasserproben mit kleinerem Chlor- und Salzgehalt nimmt die Dichtigkeit beim Abkühlen durch den Gefrierpunkt ab, und für die Wasserproben mit grösserem Chlor- und Salzgehalt nimmt die Dichtigkeit beim Abkühlen durch den Gefrierpunkt zu. Das letztgenannte Meerwasser wird also nicht in stetigem Gleichgewicht sein, wenn es sich an der Oberfläche befindet und von der Luft bis zu dem Gefrierpunkte abgekühlt wird. Der Uebergangswert für den Chlorgehalt: 13·665 ‰ ist teils aus der Tabelle gefunden, teils von H. J. HANSEN (l. c. Seite 8) direkt berechnet worden.

Cl = Chlorgehalt ‰
Chlorine ‰

S = Salzgehalt ‰
Salinity ‰

σ_0 zeigt das spezifische Gewicht bei 0°.
shows the specific gravity at 0°.

τ = Gefrierpunkt
Freezing point

σ_τ zeigt das spezifische Gewicht bei dem Gefrierpunkte.
shows the specific gravity at the freezing point.

$\left(\frac{d\sigma_t}{dt}\right)_{t=\tau}$ zeigt die Aenderung der Dichtigkeit mit der Temperatur bei dem Gefrierpunkte.
shows the variation of the density with the temperature at the freezing point.

$t_{\sigma\,max}$ = die Temperatur, bei welcher das Wasser seine grösste Dichtigkeit hat.
the temperature, at which the water has its greatest density.

σ_t max zeigt das Maximum der Dichtigkeit des Meerwassers.
shows the maximum of the density of the sea-water.

Cl	S	σ_0	τ	σ_τ	$\left(\frac{d\sigma_t}{dt}\right)_{t=\tau}$	$t_{\sigma\,max}$	σ_t max
1	1·835	1·400	— 0·099	1·394	0·062	3·589	1·556
2	3·640	2·867	— 0·195	2·856	0·057	3·211	3·037
3	5·445	4·330	— 0·290	4·316	0·052	2·829	4·508
4	7·250	5·792	— 0·386	5·775	0·047	2·446	5·970
5	9·055	7·251	— 0·483	7·233	0·042	2·060	7·421
6	10·860	8·708	— 0·579	8·689	0·037	1.673	8·863
7	12·665	10·163	— 0·676	10·146	0·032	1·283	10·295
8	14·470	11·617	— 0·774	11·602	0·027	0·891	11·718
9	16·275	13·070	— 0·871	13·057	0·023	0·499	13·131
10	18·080	14·522	— 0·969	14·513	0·018	0·106	14·536
11	19·885	15·973	— 1 068	15·969	0·012	— 0·287	15·973
12	21·690	17·423	— 1·167	17·425	0·008	— 0·681	17·427
13	23·495	18·874	— 1·266	18·882	0·003	— 1·073	18·883
14	25·300	20·324	— 1·366	20·340	— 0·001	— 1·464	20·340
15	27·105	21·774	— 1·466	21·800	— 0·006	— 1·854	21·801
16	28·910	23·225	— 1·567	23·260	— 0·010	— 2·242	23·264
17	30·715	24·676	— 1·668	24·722	— 0·014	— 2·627	24·729
18	32·520	26·129	— 1·769	26·186	— 0·019	— 3·008	26·198
19	34·325	27·582	— 1·872	27·653	— 0·023	— 3·385	27·670
20	36·130	29·037	— 1·974	29·121	— 0·027	— 3·758	29·146
21	37·935	30·494	— 2·078	30·592	— 0·031	— 4·127	30·625
22	39·740	31·953	— 2·181	32·066	— 0·035	— 4·489	32·108
23	41·545	33·413	— 2·286	33·542	— 0·040	— 4·846	33·594
13·665	**24·695**	**19·838**	**— 1·332**	**19·852**	**0·000**	**— 1·332**	**19·852**

Ont paru de la même série **(PUBLICATIONS DE CIRCONSTANCE)**:

N° 1. C. G. Joh. Petersen, How to distinguish between mature and immature Plaice throughout the Year. 8 p. 1 pl. July 1903. Kr. 1.

N° 2. Martin Knudsen, On the Standard-Water used in the hydrographical Research until July 1903. 9 p. July 1903. Kr. 0,50.

N° 3. Die Literatur der zehn wichtigsten Nutzfische der Nordsee. In monographischer Darstellung. 112 S. 10 T. August 1903. Kr. 3.

The Literature of the Ten Principal Food Fishes of the North Sea. In the form of compendious monographs. 108 p. 10 pl. August 1903. Kr. 3.

COPENHAGUE — IMPRIMERIE BIANCO LUNO